

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ  
к проведению практических работ по дисциплине  
«Обращение с отходами»**

Донецк  
2021

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**КАФЕДРА «ПРИКЛАДНАЯ ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ  
к проведению практических работ по дисциплине  
«Обращение с отходами»**

для обучающихся по направлению подготовки  
18.03.01 «Химическая технология»  
профиль «Технология тугоплавких неметаллических и силикатных  
материалов»  
всех форм обучения

**РАССМОТРЕНО**  
на заседании кафедры  
прикладной экологии и охраны  
окружающей среды  
Протокол № 6 от 21.01.2021 г.

**УТВЕРЖДЕНО**  
на заседании учебно-издательского  
совета ДОННТУ  
Протокол № 2 от 24.02.2021 г.

Донецк  
2021

УДК 658.567.1(076)

М54

**Составители:**

Ганнова Юлия Николаевна - кандидат химических наук, доцент кафедры прикладная экология и охрана окружающей среды ГОУВПО «ДОННТУ»;

Горбатко Сергей Витальевич – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладная экология и охрана окружающей среды ГОУВПО «ДОННТУ».

М54        **Методические рекомендации к проведению практических работ по дисциплине «Обращение с отходами»** : для обучающихся по направлению подготовки 18.03.01 «Химическая технология» профиль «Технология тугоплавких неметаллических и силикатных материалов» всех форм обучения / ГОУВПО «ДОННТУ», каф. прикладной экологии и охраны окружающей среды; сост.: Ю.Н. Ганнова, С.В. Горбатко. — Донецк : ДОННТУ, 2021. – Систем. Требования: Acrobat Reader. – Загл. с титул. экрана.

Методические рекомендации разработаны с целью оказания помощи обучающимся в усвоении теоретического материала и получении практических навыков по дисциплине «Обращение с отходами», которые содержат задания для решения практических задач по курсу.

УДК 658.567.1(076)

## Содержание

|   |    |
|---|----|
| Общие положения.....  | 5  |
| 1. Определение класса опасности промышленных отходов.....                                       | 6  |
| 1.1. Определение класса опасности отходов расчетным способом....                                | 6  |
| Первый способ расчета класса опасности отходов.....   | 6  |
| Второй способ расчета класса опасности отходов.....   | 9  |
| 1.2 Пример расчета класса опасности промышленных отходов на<br>основании LD <sub>50</sub> ..... | 10 |
| 2. Расчет отвалов промышленных отходов при сухом способе<br>возведения.....                     | 12 |
| 2.1. Основные типы отвалов.....   | 12 |
| 2.2. Примеры расчета.....   | 14 |
| 3. Расчет хранилищ промышленных отходов при гидравлическом<br>способе возведения.....           | 23 |
| 3.1. Гидравлический способ складирования отходов.....   | 23 |
| 3.2. Хранилища отходов.....   | 24 |
| 3.3 Примеры расчета.....  | 27 |
| 4. Основные направления обращения с промышленными<br>отходами.....                              | 34 |
| Приложения.....   | 37 |
| Перечень рекомендованной литературы.....  | 46 |

## ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Одной из наиболее острых экологических проблем в настоящее время является проблема обращения с промышленными отходами.

Наибольшее количество отходов составляют вскрышные, вмещающие, шахтные породы добычи полезных ископаемых, хвосты обогащения руд, угля, металлургические шлаки, шламы химических, гальванических производств, горелая формовочная земля и другие.

Во многих случаях отходы содержат в своем составе черные, цветные, редкие, драгоценные металлы, а также нерудное сырье. Среди них отходы гальванических производств черной и цветной металлургии, химической промышленности и т. д. Накопители таких отходов расценивают как техногенные месторождения.

Они занимают сотни тысяч гектар плодородных земель, поверхности отвалов, хранилищ отходов пылят, фильтрат проникает в почвы, грунты, подземные воды и загрязняет их.

Студенты, должны уметь обосновывать и внедрять в своей будущей профессиональной деятельности эффективные методы обращения с отходами, уметь определять класс опасности их и выполнять все необходимые расчеты.

Настоящие методические указания разработаны в помощь студентам для выполнения практических работ по двум содержательным модулям, входящих в состав курса «Обращение с отходами»:

1. Основные закономерности образования отходов, методы их переработки и складирования.
2. Основные направления обращения с промышленными отходами.

На практических занятиях будут рассмотрены следующие вопросы:

Содержательный модуль 1:

- Определение класса опасности отходов.

- Расчеты объемов отвалов промышленных отходов различной конфигурации, их поверхности, занимаемой площади, сроков эксплуатации отвалов (сухой способ складирования отходов).
- Расчеты плотности, расхода пульпы, объемов ограждающих дамб, хвостохранилищ, сроков их эксплуатации (гидравлический способ складирования отходов).
- В состав первого модуля входит выполнение самостоятельной расчетно-графической работы: «Расчет параметров хвостохранилища».

Содержательный модуль 2:

- Ориентировочные расчеты объемов образования отходов, расхода сырьевых материалов, содержания ценных компонентов в отходах.
  - Разработка рекомендаций по обращению с промышленными отходами.
- Текущий контроль знаний студентов дневной формы обучения

включает:

### 1. Определение класса опасности промышленных отходов

Класс опасности отходов определяют:

экспериментальным путем на подопытных животных в учреждениях, аккредитованных на этот вид деятельности;

расчетным способом при известном физико-химическом составе отходов на основании  $LD_{50}$  (первый способ) или ПДК химических веществ в почве (второй способ);

на основании классификатора отходов.

#### 1.1. Определение класса опасности отходов расчетным способом

Расчет класса опасности производится по методике ДСанПиН. 2.27.029-99 г. /1/.

Первый способ расчета класса опасности отходов

Первый способ расчета опасности используют для отходов, для которых разработаны технологии утилизации, обезвреживания или обработки, что приводит к предупреждению или уменьшению негативного воздействия на объекты окружающей среды.

На основании  $LD_{50}$  определяют индекс токсичности ( $K_i$ ) каждого химического ингредиента, который входит в состав отхода по зависимости

$$K_i = \frac{\lg(LD_{50})_i}{(S+0.1F+C_B)_i}, \quad (1)$$

где  $\lg(LD_{50})_i$  – логарифм средней смертельной дозы химического ингредиента при попадании в желудок ( $LD_{50}$  определяют по справочникам) /2 – 4/.

$S$ - коэффициент, отражающий растворимость химического ингредиента в воде (определяют по справочнику /5/ в граммах на 100 г воды при температуре не выше  $25^0$  С, эту величину делят на 100 и получают безразмерный коэффициент  $S$ , который чаще всего находится в интервале от 0 до 1);

$F$  – коэффициент летучести химического ингредиента, который определяют следующим образом: по справочнику /6, 7/ определяют давление насыщенного пара ингредиентов отхода в мм рт. ст., имеющего температуру кипения при давлении 760 мм ртутного столба не выше  $80^0$ С, полученную величину делят на 760 и получают безразмерную величину коэффициента  $F$ ;

$C_e$  – содержание данного ингредиента в общей массе отхода в т/т;

Величину  $K_i$  округляют до первого знака после запятой.

После расчета  $K_i$  для отдельных ингредиентов отхода, выбирают не больше 3, но не меньше 2 ведущих компонентов, имеющих минимальное значение  $K_i$ , причем  $K_1 < K_2 < K_3$ , кроме того должно выполняться условие

$$K_1 + K_2 \geq K_3.$$

Если это условие не выполняется, выбирают 2 компонента.

Затем определяют суммарный индекс опасности по зависимости

$$K_{\Sigma} = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n K_i, \quad n \leq 3, \quad (2)$$

где  $n$  – количество выбранных ингредиентов (2 или 3),  $K_{\Sigma}$  рассчитывается с помощью двух или трех выбранных индексов токсичности.

На основании суммарного индекса опасности определяют класс опасности и степень токсичности отхода с помощью таблицы 1.

Таблица 1. Классификация опасности отходов на основании  $LD_{50}$

| Величина $K_{\Sigma}$ , определенная на основании $LD_{50}$ | Класс опасности | Степень токсичности |
|---|-----------------|---------------------|
| Меньше 1,3  | I               | Чрезвычайно опасные |
| От 1,3 до 3,3   | II              | Высоко опасные      |
| От 3,4 до 10  | III             | Умеренно опасные    |
| От 10 и более   | IV              | Мало опасные        |

При отсутствии  $LD_{50}$  для ингредиентов отхода, но при наличии класса опасности этих ингредиентов в воздухе рабочей зоны (ГОСТ 12.1.005-88) необходимо в формулу (1) подставлять условные величины  $LD_{50}$ , которые ориентировочно определяют по показателям класса опасности в воздухе рабочей зоны (табл. 2).



Таблица 2. Классы опасности ингредиентов в воздухе рабочей зоны и соответствующие эквиваленты LD<sub>50</sub>

| Класс опасности в воздухе рабочей зоны | Эквивалент LD <sub>50</sub> | lg (LD <sub>50</sub> ) |
|--|-----------------------------|------------------------|
| I                                      | 15                          | 1,176                  |
| II                                     | 150                         | 2,176                  |
| III                                    | 5000                        | 3,699                  |
| IV                                     | >5000                       | 3,778                  |

### Второй способ расчета класса опасности отходов

Второй способ расчета класса опасности используют для отходов, которые удаляют для складирования на полигоны твердых промышленных отходов, т. е. при этом будет непосредственная связь отходов с почвой. В этом способе расчета применяют ПДК их химических составляющих в почвах.

Индекс токсичности ( $K_i$ ) каждого химического ингредиента, который входит в состав отхода, определяют по зависимости

$$K_i = \frac{ПДК_i}{(S + 0.1F + C_B)_i},$$

(3)

где ПДК<sub>i</sub> – предельно допустимая концентрация токсичного химического вещества в почве, который содержится в отходе;

$K_i$ ,  $S$ ,  $F$ ,  $C_B$  – те же показатели, что и в формуле 1.

После определения  $K_i$  расчет выполняют в той же последовательности, что и в первом случае.

Далее на основании  $K_{\Sigma}$  с помощью таблицы 3 устанавливают класс опасности отходов.

Таблица 3. Классификация опасности отходов на основании ПДК химических составляющих в почвах

| Величина $K_{\Sigma}$ , определенная на основании ПДК почвах | Класс опасности | Степень токсичности |
|--|-----------------|---------------------|
| Меньше 2   | I               | Чрезвычайно опасные |
| От 2,1 до 16   | II              | Высоко опасные      |
| От 16,1 до 30  | III             | Умеренно опасные    |
| От 30,1 и более  | IV              | Мало опасные        |

При отсутствии данных о составе отходов, класс опасности их определяют по классификаторам /9/.

1.2. Пример расчета класса опасности промышленных отходов на основании  $LD_{50}$

На машиностроительном предприятии образуется отход, в составе которого содержатся следующие ингредиенты:

1.  $As_2O_5$  – 5%;
2.  $AsCl_3$  – 5%;
3.  $AlCl_3$  – 15%;
4.  $Fe_2O_3$  – 50%;
5.  $PbO$  – 25%.

Согласно приложению 2, находим необходимые параметры и составляем таблицу:

Таблица 4. Физико-химические и токсикологические характеристики ингредиентов отходов

| Ингредиент                         | Масса ингредиента, т/т | Давление насыщенного пара, мм рт. ст. | Растворимость ингредиента в воде, г/100 | LD <sub>50</sub> , мг/кг | Класс опасности | Эквивалент LD <sub>50</sub> |
|------------------------------------|------------------------|---------------------------------------|---|--------------------------|-----------------|-----------------------------|
| <i>As<sub>2</sub>O<sub>5</sub></i> | 0,05                   | 0                                     | 65,8                                    | -                        | II              | 150                         |
| <i>AsCl<sub>3</sub></i>            | 0,05                   | 11,65                                 | 0                                       | 48                       | -               | -                           |
| <i>AlCl<sub>3</sub></i>            | 0,15                   | 0                                     | 45,1                                    | 150                      | -               | -                           |
| <i>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i> | 0,50                   | 0                                     | 0                                       | -                        | III             | 5000                        |
| <i>PbO</i>                         | 0,25                   | 0                                     | 0,2756                                  | 217                      | -               | -                           |

Согласно формуле (1) определяем индекс токсичности каждого химического ингредиента:

$$K_1 (As_2O_5) = \frac{\lg (LD_{50})_i}{(S+0.1F+C_B)_i} = \frac{\lg(150)}{0.658+0+0.05} = \frac{2.176}{0.708} = 3,1;$$

$$K_2 (AsCl_3) = \frac{\lg (48)}{0+0,0015+0,05} = 32,6;$$

$$K_3 (AlCl_3) = \frac{\lg (150)}{0,451+0+0,15} = 3,6;$$

$$K_4 (Fe_2O_3) = \frac{\lg (5000)}{0+0+0,5} = 7,4;$$

$$K_5 (PbO) = \frac{\lg (217)}{0,0028+0+0,25} = 9,2.$$

Далее располагаем этот ряд по увеличению значений коэффициентов  $K_i$  и вводим новую нумерацию  $K_1 (As_2O_5) = 3,1$ ;  $K_2 (AlCl_3) = 3,6$ ;  $K_3 (Fe_2O_3) = 7,4$ ;  $K_4 (PbO) = 9,2$ ;  $K_5 (AsCl_3) = 32,6$ .

Выбираем наименьшие значения индексов токсичности ( $K_i$ ), чтобы выполнялось условие:  $K_1 < K_2 < K_3$ .

Таковыми величинами будут:  $K_1 = 3,1$ ;  $K_2 = 3,6$ ;  $K_3 = 7,4$ .

Но в этом случае не выполняется второе условие:  $K_1 + K_2 \geq K_3$ , поэтому берем только два значения:

$K_1 = 3,1$ ;  $K_2 = 3,6$  и определяем суммарный индекс токсичности согласно формуле (2)

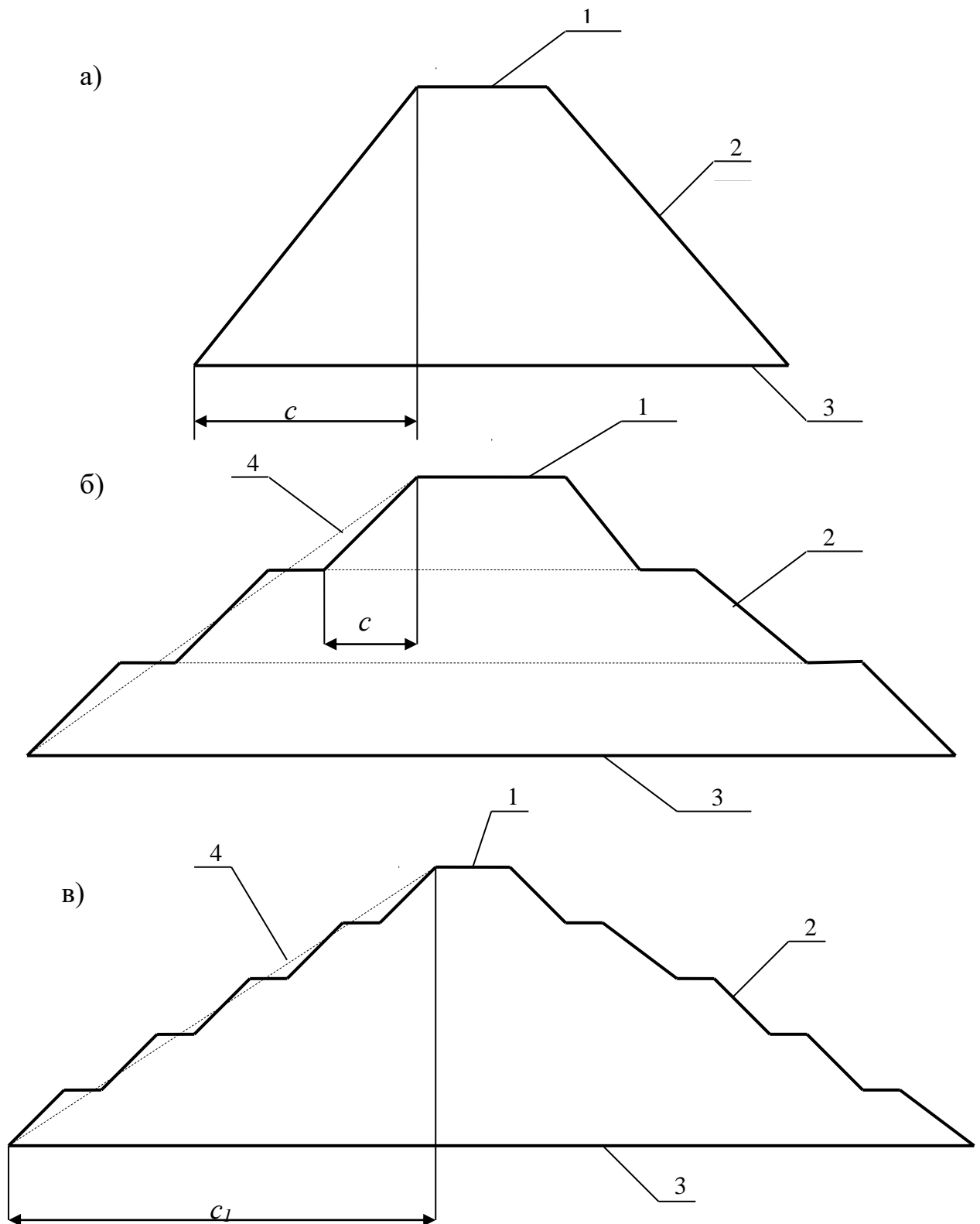
$$K_{\Sigma} = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n K_i = \frac{1}{2^2} (3.1 + 3.6) = 1.7.$$

Согласно таблице (1), суммарный индекс опасности отвечает второму классу опасности отходов.

## 2. Расчет отвалов промышленных отходов при сухом способе возведения

### 2.1. Основные типы отвалов

При сухом способе складирования отходов отвалы устраивают плоскими, платообразными, одноярусными, многоярусными, террасированными высотой 30 –100 м (рис. 1). Причем для их размещения чаще всего отводят непригодные для землепользования участки земель, поэтому отвалы отходов могут иметь



а) одноярусного; б) многоярусного; в) террасированного.

1 – гребень; 2 – откос; 3 – основание; 4 – усредненный откос;  $c$  – заложение откоса;  $c_1$  – заложение усредненного откоса.

Рисунок 1 – Поперечные разрезы различных типов отвалов:

различную конфигурацию. Для расчета объемов, площадей поверхности и занимаемых земельных участков такими отвалами, их разбивают на отдельные участки, для которых существуют геометрические зависимости, а полученные результаты суммируют.

Горизонтальную площадь, которая ограничивает тело отвала сверху, называют гребнем; боковые стороны – откосами; нижнюю площадь – основанием.

Уклоны откосов зависят от высоты отвала, свойств складироваемых отходов, свойств грунтов основания. Заложение откоса – это проекция длины откоса на горизонтальную поверхность (обычно заложение откоса обозначают, как отношение 1 метра высоты отвала к заложению откоса, приходящегося на 1 метр высоты, например,  $1 : 3$ ;  $1 : 2,5$  и т. д., это значит, что на 1 метр высоты отвала заложение откоса составляет 3 или 2,5 м).

При устройстве многоярусных или террасированных отвалов уменьшается средний уклон откоса отвала, что повышает его устойчивость, кроме того, улучшаются условия подъезда транспорта.

## 2.2. Примеры расчета

### Задача 2.2.1.

Определить объем, площадь поверхности отвала отходов и площадь земельного участка который он занимает, при следующих исходных данных:

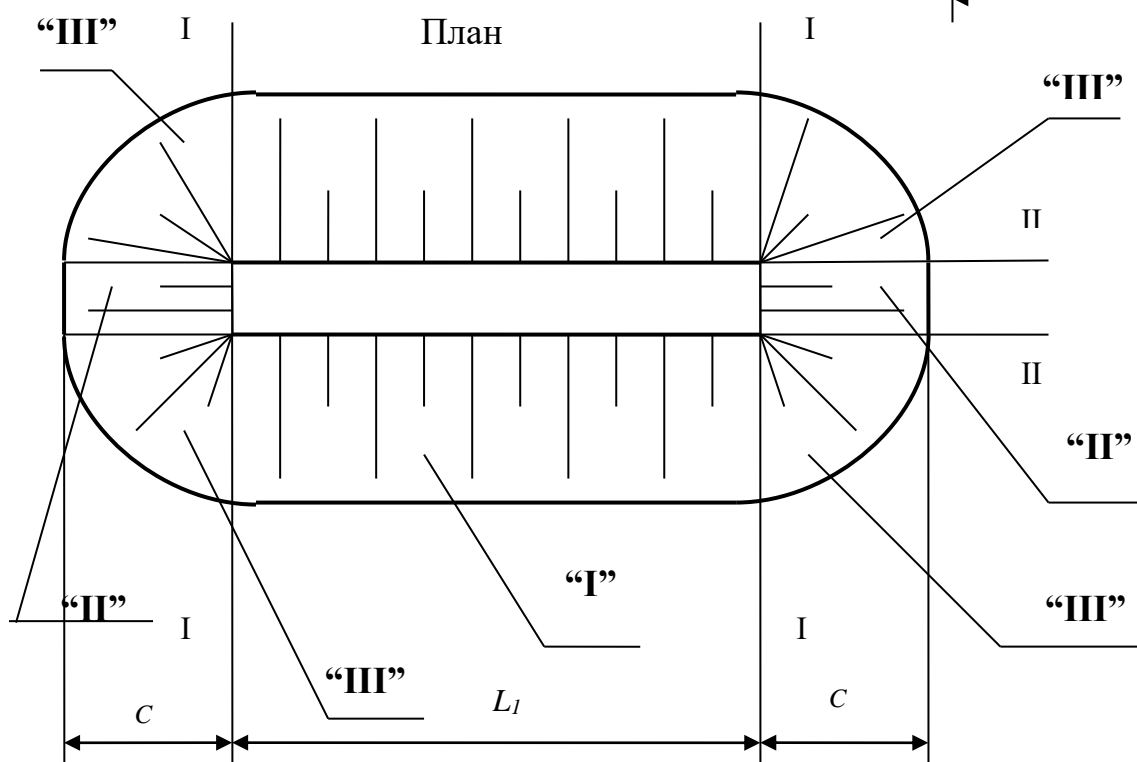
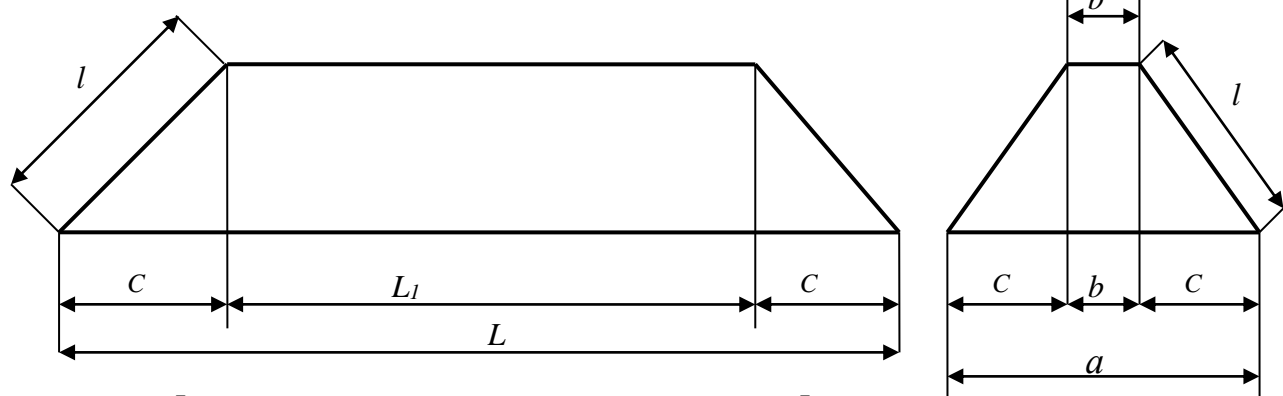
- высота отвала –  $H = 40$  м;
- ширина гребня –  $b = 10$  м;
- длина в основании –  $L = 800$  м;
- заложение откоса –  $1 : m = 1 : 2$ .

### Решение

Схема отвала представлена на рис 2.

Продольный разрез

Поперечный разрез



Призма – "I"

Призма – "II"

Четыре 1/4 конуса – "III"

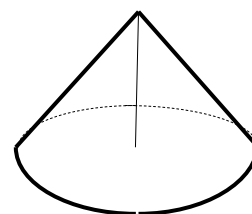
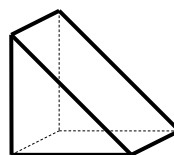
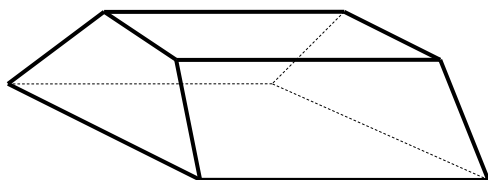


Рисунок 2 – Схема отвала

Для расчета разбиваем отвал на отдельные фигуры, для которых существуют геометрические зависимости: призму “I”, 2 призмы “II” и четыре  $\frac{1}{4}$  конуса “III”.

#### Определение объема отвала

Объем призмы “I” определяем по зависимости

$$V_{np.1} = F_1 H_1,$$

где  $F_1$  – площадь поперечного сечения призмы “I”;  $H_1$  – высота призмы, равная в данном случае  $L_1$ .

$$L_1 = L - 2 H m = 800 - 2 * 40 * 2 = 640 \text{ м};$$

$$a = H m + b + H m = 40 * 2 + 10 + 40 * 2 = 170 \text{ м};$$

$$F_1 = (a + b) / 2 * H = (170 + 10) / 2 * 40 = 3600 \text{ м}^2.$$

$$V_{np.1} = 3600 * 640 = 2304000 \text{ м}^3.$$

Объем призмы “II” определяем по зависимости

$$V_{np.2} = F_2 H_2,$$

где  $F_2$  – площадь поперечного сечения призмы “II”;  $H_2$  – высота призмы, равная в данном случае  $b$ .

$$F_2 = c H / 2; c = H m = 40 * 2 = 80 \text{ м}; F_2 = (80 * 40) / 2 = 1600 \text{ м}^2;$$

$$V_{np.2} = 1600 * 10 = 16000 \text{ м}^3.$$

Объем четырех  $\frac{1}{4}$  конуса “III” определяем по зависимости

$$V_{кон.} = 1/3 \pi R^2 H = 1/3 * 3.14 * 80^2 * 40 = 267947 \text{ м}^3, \text{ где } R = c.$$

Объем отвала определяем по зависимости

$$V_{отв.} = V_{np.1} + 2 V_{np.2} + V_{кон.} = 2304000 + 2 * 16000 + 267947 = 2603947 \text{ м}^3.$$

#### Определение площади поверхности отвала

Площадь поверхности отвала отходов рассчитывают с целью определения поверхности пыления, объема земляных работ при



рекультивации отвалов, определения поверхностного стока с поверхности отвала и т. д.

Площадь поверхности призмы “I” определяем по зависимости

$$S_{нов. пр. 1} = (2 l + b) L_1,$$

где  $l$  – длина откоса, определяемая по зависимости

$$l = \sqrt{H^2 + c^2} = \sqrt{40^2 + 80^2} = 89,44 \text{ м}; \quad S_{нов. пр. 1} = (89,44 * 2 + 10) * 640 = 120883 \text{ м}^2.$$

Площадь поверхности призмы “II” определяем по зависимости

$$S_{нов. пр. 2} = b l = 10 * 89,44 = 894,4 \text{ м}^2.$$

Площадь поверхности четырех  $\frac{1}{4}$  конуса “III” определяем по зависимости

$$S_{кон.} = \pi R l = 3,14 * 80 * 89,44 = 22467 \text{ м}^2$$

Площадь поверхности отвала определяем по зависимости

$$S_{нов. отв.} = S_{нов. пр. 1} + S_{нов. пр. 2} + S_{кон.} = 120883 + 894,4 * 2 + 22467 = 145139 \text{ м}^2.$$

Определение площади земельного участка, занимаемого отвалом

Площадь земельного участка, занимаемого призмой “I” определяем по зависимости

$$S_{зем. уч. пр. 1} = (2 c + b) L_1 = (80 * 2 + 10) 640 = 108800 \text{ м}^2.$$

Площадь земельного участка, занимаемого призмой “II” определяем по зависимости

$$S_{зем. уч. пр. 2} = b c = 10 * 80 = 800 \text{ м}^2.$$

Площадь земельного участка, которую занимают четыре  $\frac{1}{4}$  конуса “III” определяем по зависимости

$$S_{\text{зем. уч. кон.}} = \pi R^2 = 3,14 * 80^2 = 20096 \text{ м}^2.$$

Площадь земельного участка, занимаемого отвалом, определяем по зависимости

$$S_{\text{отв.}} = S_{\text{зем. уч. пр.1}} + S_{\text{зем. уч. пр. 2}} + S_{\text{зем. уч. кон.}} = 108800 + 800 * 2 + 20096 = 130496 \text{ м}^2 = \sim 13,0 \text{ га}.$$

Ответ: объем отвала равен  $2603947 \text{ м}^3$ ; площадь поверхности отвала –  $145139 \text{ м}^2$ ; площадь земельного участка, занимаемого отвалом, составляет около  $13,0 \text{ га}$ .

### Задача 2.2.2.

Определить площадь поверхности отвала и площадь земельного участка, который освободится после полной утилизации отходов отвала при следующих исходных данных:

- ориентировочно принять форму отвала в виде усеченной пирамиды;
- высота отвала –  $H = 40 \text{ м}$ ;
- заложение откосов –  $1 : m = 1 : 2,5$ ;
- объем отвала –  $V = 1,5 \text{ млн. м}^3$ .

### Решение

Схема отвала показана на рис. 3.

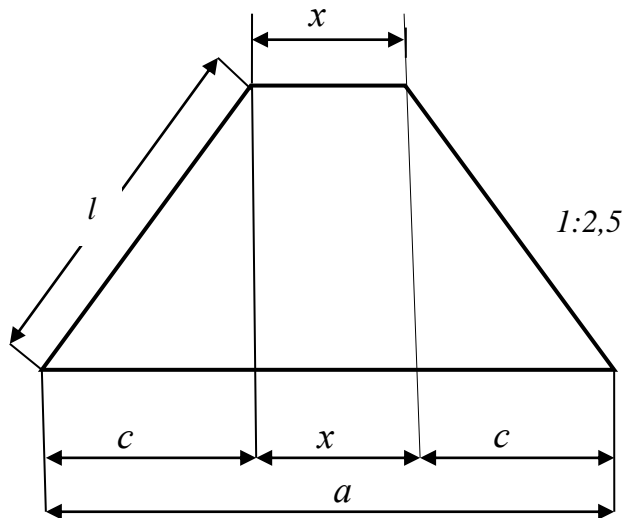


Рисунок 3 – Схема отвала

Для определения объема отвала используют зависимость для усеченной пирамиды

$$V = \frac{1}{3} H (S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 S_2}),$$

где  $S_1$  – площадь гребня отвала,  $S_2$  – площадь нижнего основания отвала;

$$S_1 = x^2; S_2 = (x + 200)^2;$$

$$1500000 = 1/3 * 40 * (x^2 + (x + 200)^2 + \sqrt{x^2 (x + 200)^2}) =$$

$$1500000 = 1/3 * 40 * (3x^2 + 600x + 40000);$$

$$x^2 + 200x - 24166,7 = 0; D = b^2 - 4ac = 136666,8;$$

$$x = (-b \pm \sqrt{D}) / 2a = (-200 \pm \sqrt{136666,8}) = 84,84 \text{ м};$$

#### Определение площади поверхности отвала

Сначала определяем площадь одной грани, имеющей форму трапеции по зависимости

$$S_{нов.1} = (a + x) / 2 * l; l = \sqrt{H^2 + c^2} = \sqrt{40^2 + 100^2} = 107,7 \text{ м};$$

$$c = H m = 40 * 2,5 = 100 \text{ м}; a = 2 c + x = 2 * 100 + 84,84 = 284,84 \text{ м};$$

$$S_{нов.1} = (284,84 + 84,84) / 2 * 107,7 = 19907 \text{ м}^2;$$

$$S_{нов.отв.} = 4 S_{нов.1} + S_1 = 19907 + 84,84^2 = 86826 \text{ м}^2$$

Определение площади земельного участка, занимаемого отвалом

$$S_{\text{зем. уч.}} = a^2 = 284,84^2 = 81134 \text{ м}^2 = \sim 8,1 \text{ га.}$$

Ответ: площадь земельного участка, занимаемого отвалом, составляет около 8,1 га; площадь поверхности отвала – 86826 м<sup>2</sup>.

### Задача 2.2.3.

Определить срок эксплуатации отвала при следующих исходных данных:

- форма отвала в виде усеченного конуса;
- высота отвала  $- H = 80 \text{ м};$
- площадь нижнего основания  $- S_{\text{н.}} = 12 \text{ га};$
- угол наклона откоса  $- 44^\circ;$
- среднегодовое образование отходов на предприятии  $- G = 420 \text{ тыс. м}^3.$

Решение

Схема отвала приведена на рис. 4.

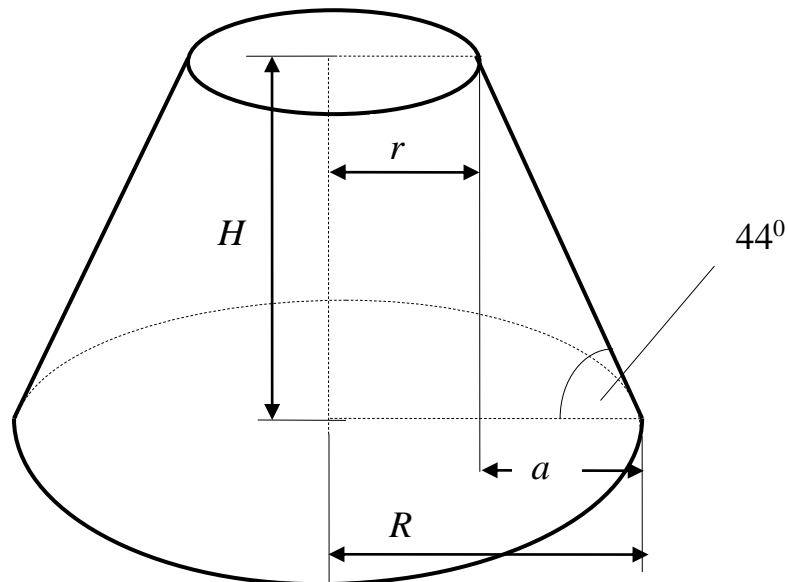


Рисунок 4 – Схема отвала

Определяем объем отвала по зависимости для усеченного конуса

$$V = \frac{1}{3} \pi H(R^2 + r^2 + Rr); S_{\text{н.}} = \pi R^2; R = \sqrt{\frac{S_{\text{н.}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{120000}{3,14}} = 195,5 \text{ м};$$

$$r = R - a; a = \frac{H}{\text{tg } 44^\circ} = \frac{80}{0,9657} = 82,8 \text{ м}; r = 195,5 - 82,8 = 112,7 \text{ м};$$

$$V = \frac{1}{3} * 3,14 * 80 * (195,5^2 + 112,7^2 + 195,5 * 112,7) = 6108714 \text{ м}^3;$$

Срок эксплуатации отвала определяем по зависимости

$$T = \frac{V}{G} = \frac{6108714}{420000} = 14,5 \text{ лет.}$$

Ответ: срок эксплуатации отвала 14,5 лет.

#### Задача 2.2.4.

Шахта складировать отходы на участке, площадью 8,4 га. Определить на сколько больше срок эксплуатации отвала, отсыпанного с уплотнением отходов, чем отсыпанного без уплотнения. Для расчета принять следующие исходные данные:

- форма отвала – *усеченный конус*;
- высота отвала – 60 м;
- угол наклона откоса отвала – 38°;
- плотность сухого грунта уплотненного –  $\rho_{\text{с.з.1}} = 1,85 \text{ т/м}^3$ ;
- плотность сухого грунта неуплотненного –  $\rho_{\text{с.з.2}} = 1,5 \text{ т/м}^3$ ;
- Среднесуточное образование отходов на шахте –  $G = 1200 \text{ т}$ .

Решение

Схема отвала приведена на рис. 5.

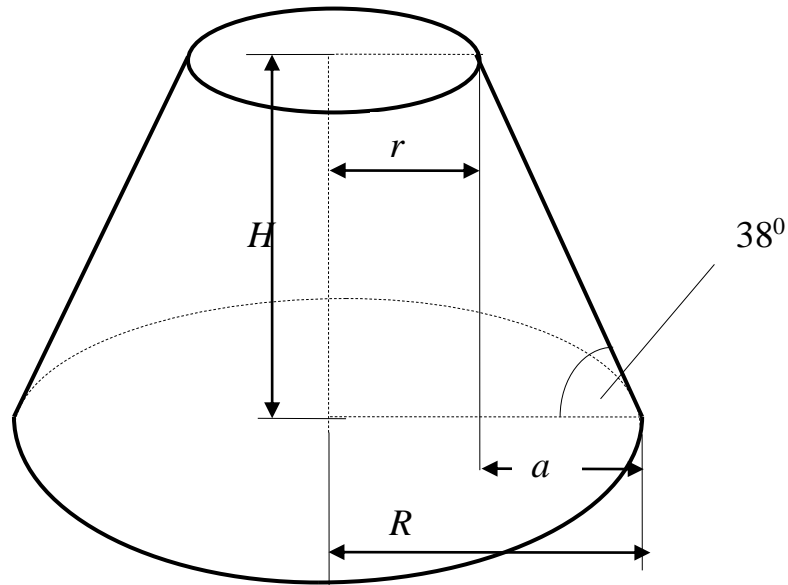


Рисунок 5 – Схема отвала

Определяем объем отвала по зависимости для усеченного конуса

$$V = \frac{1}{3} \pi H (R^2 + r^2 + R r); S_{\text{н.}} = \pi R^2; R = \sqrt{\frac{S_{\text{н.}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{84000}{3,14}} = 163,6 \text{ м};$$

$$r = R - a; a = \frac{H}{\text{tg } 38^\circ} = \frac{60}{0,7813} = 76,80 \text{ м}; r = 163,6 - 76,8 = 86,8 \text{ м};$$

$$V = \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 60 \cdot (163,6^2 + 86,8^2 + 163,6 \cdot 86,8) = 3045780 \text{ м}^3;$$

Определяем массу отходов, отсыпанных в отвал с уплотнением по зависимости

$$M_1 = V \rho_{\text{с. з. 1}} = 3045780 \cdot 1,85 = 5634693 \text{ т};$$

Определяем массу отходов, отсыпанных в отвал без уплотнения по зависимости

$$M_2 = V \rho_{\text{с. з. 2}} = 3045780 \cdot 1,5 = 4568670 \text{ т};$$

Срок эксплуатации отвала определяем по зависимости

$$T_1 = \frac{M_1}{G} = \frac{5634693}{1200 \cdot 365} = 12,86 \text{ лет};$$

$$T_2 = \frac{M_2}{G} = \frac{4568670}{1200 \cdot 365} = 10,43 \text{ лет};$$

$$\Delta T = T_1 - T_2 = 12,86 - 10,43 = 2,43 \text{ года.}$$

Ответ: срок эксплуатации отвала, отсыпанного с уплотнением отходов, больше на 2,43 года, чем отсыпанного без уплотнения.

### 3. Расчет хранилищ промышленных отходов при гидравлическом способе возведения

#### 3.1. Гидравлический способ складирования отходов

Гидравлический способ складирования отходов заключается в транспортировании отходов в смеси с водой (в виде пульпы) по трубопроводам с помощью насосов и сбросе их в хранилище. Сброс пульпы в хранилище осуществляют с помощью рассеивающих выпусков или торцевым способом. Гидравлический способ применяют для отходов, образующихся при мокром способе обогащения, пыли, золы ТЭС, улавливаемых мокрым способом, шламов и других отходов, находящихся в насыщенном водой состоянии. Трубопроводы, с помощью которых транспортируют пульпу от предприятия, а также распределяют ее по хранилищу, называют пульповодами. Распределительные пульповоды размещают на гребнях первичных и вторичных дамб. При заполнении одного яруса хранилища их переносят на следующий ярус.

Пульпа – это смесь твердых отходов и воды. Основными характеристиками ее являются консистенция, плотность частиц пульпы, гранулометрический состав отходов и другие показатели.

Консистенция пульпы – соотношение массы твердых отходов к массе жидкости (Т:Ж). Консистенция пульпы изменяется в больших пределах (от 1:1 до 1:30) и зависит от плотности частиц хвостов, расхода пульпы, расстояния транспортировки, диаметра пульповодов, напорного оборудования и других факторов.

Плотность частиц пульпы  $\rho_n$  – отношение массы частиц пульпы к ее объему определяют по формуле

$$\rho_n = \frac{T+Ж}{\frac{T}{\rho_{ч.отх.}} + \frac{Ж}{\rho_в}}, \quad \text{т/м}^3, \quad (4)$$

где  $\rho_{ч.отх.}$  — плотность частиц отходов, т/м<sup>3</sup>;  $\rho_в$  — плотность воды, равная 1 т/м<sup>3</sup>.

### 3.2. Хранилища отходов

В зависимости от рельефа местности различают следующие типы хранилищ отходов (рис. 6.):

а) балочные, устроенные в балках или оврагах, путем перегораживания их дамбами;

б) равнинные, устроенные на ровной местности путем ограждения их дамбами по периметру;

в) пойменные, устроенные в поймах рек, путем ограждения их с двух или трех сторон дамбами;

г) косогорные, примыкающие с одной стороны к косогору, а с остальных трех сторон огражденные дамбами;

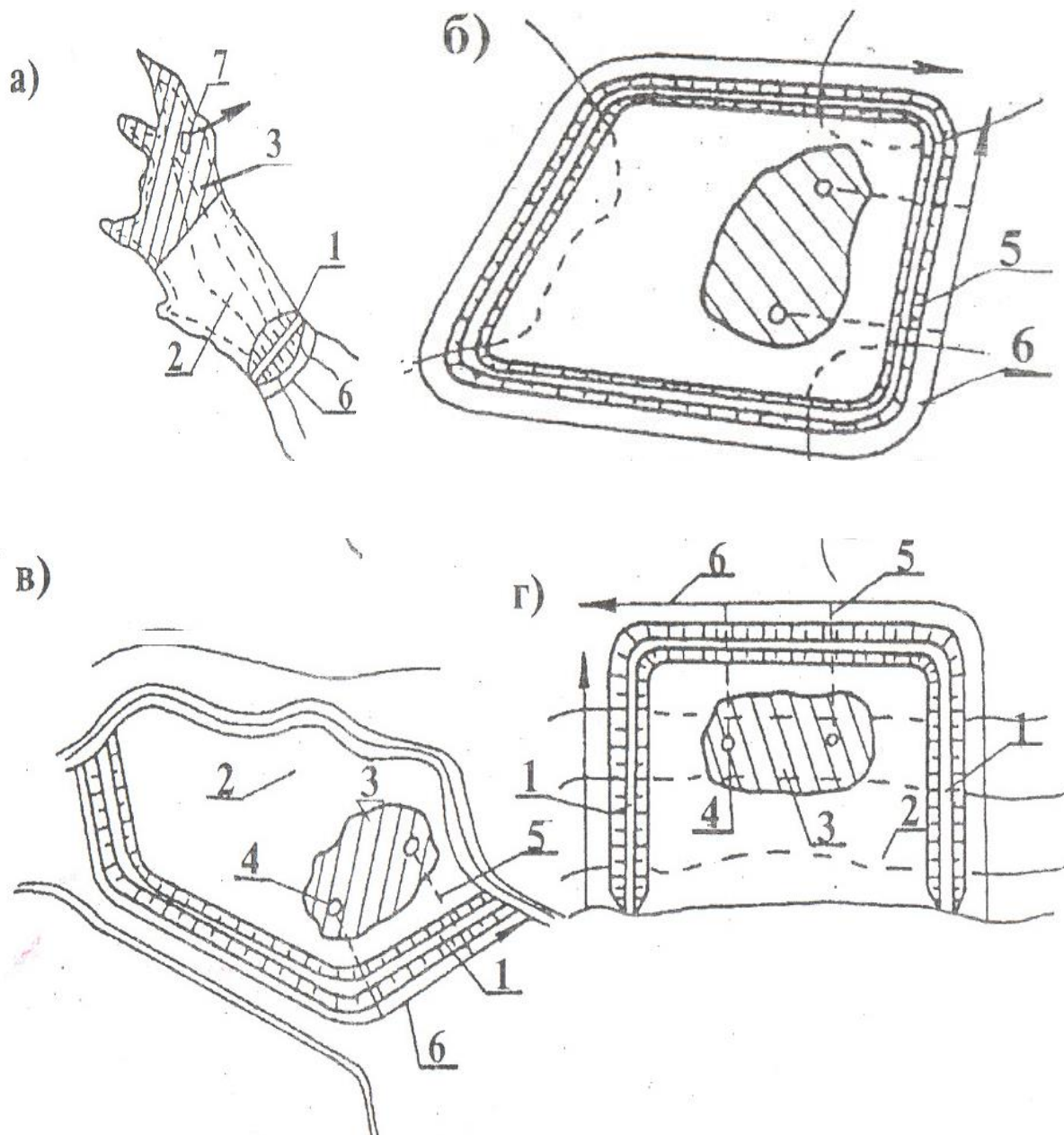
д) котлованные, устроенные в котлованах старых карьеров, при этом возведение дамб не требуется.

Хранилища отходов в зависимости от способа возведения разделяют на:

а) наливные, в которых ограждающие дамбы возводят из природных материалов сразу на всю высоту, при этом требуются большие капитальные затраты;

б) намывные (постепенного заполнения), в которых сначала возводят первичную дамбу из природных материалов небольшой высоты, а затем постепенно отсыпают вторичные дамбы из отходов в процессе эксплуатации хранилища.





а) балочное; б) равнинное; в) пойменное; г) косогорное;  
 1 – дамба; 2 – надводный пляж; 3 – прудок-отстойник; 4 – водосбросной колодец; 5 – водосбросной коллектор; 6 – сборная канава; 7 – плавучая насосная станция.

Рисунок 6 – Типы хранилищ:

В комплекс хранилища входят ограждающая дамба, надводный пляж, прудок-отстойник, пульповоды, водосбросные, дренажные и другие сооружения.

Ограждающая дамба состоит из первичной дамбы и вторичных дамб. Первичная дамба – это насыпь из природных материалов или из вскрышных пород карьеров высотой 5 – 10 м, предназначенная для устройства хранилища первой очереди.

Вторичные дамбы после заполнения хранилища первой очереди возводят по ярусам из намытых хвостов с помощью строительной техники (бульдозеров, скреперов, экскаваторов и других механизмов), основанием вторичных дамб являются отходы надводных пляжей хранилища. Высота вторичных дамб, в основном, составляет 2,5 – 3 м.

Емкость хранилища состоит из объемов складированных хвостов и пруда-отстойника, предназначенного для осветления воды.

Объем хранилища должен быть достаточным для приема хвостов на период проектного срока эксплуатации и определяют его по следующей зависимости

$$W = \frac{G_{\text{отх.}} \cdot t_{\text{э}}}{\rho_{\text{с. отх.}} \cdot K_{\text{зап.}}}, \text{ м}^3, \quad (5)$$

где  $G_{\text{отх.}}$  – масса складированных отходов за один год, т;  $t_{\text{э}}$  – срок эксплуатации хранилища отходов, лет;  $\rho_{\text{с. отх.}}$  – средняя плотность сухих отходов в хранилище, т/м<sup>3</sup>;  $K_{\text{зап.}}$  – коэффициент заполнения хранилища, характеризующий практическую возможность заполнения его геометрического объема.

Полное заполнение хранилища невозможно, так как в хранилище устраивается пруд-отстойник, обеспечивающий необходимое осветление воды, а также каждый ярус заполняется не на полную высоту. Рекомендуется принимать коэффициент заполнения хранилища, равным 0,75 – 0,8.

Геометрический объем хранилища определяют по данным топографической съемки местности и заложения откосов дамбы путем

схематизации его формы к геометрической фигуре (усеченный конус, усеченная пирамида, призма и т. д.).

### 3.3 Примеры расчета

#### Задача 3.3.1.

Горно-обогатительный комбинат удаляет хвосты обогащения в хвостохранилище гидротранспортом в виде пульпы. Определить годовой выход хвостов на комбинате по массе –  $G_{хв.}$ . Для расчета принять следующие исходные данные:

- расход пульпы  $- Q_n = 40000 \text{ м}^3/\text{час};$
- консистенция пульпы по массе  $- T:Ж = 1:15;$
- плотность частиц хвостов  $- \rho_{ч. хв.} = 3 \text{ т}/\text{м}^3;$
- плотность воды  $- \rho_{в.} = 1 \text{ т}/\text{м}^3.$

#### Решение

Согласно формуле (4) определяем плотность частиц пульпы

$$\rho_n = \frac{T+Ж}{\frac{T}{\rho_{ч.отх.}} + \frac{Ж}{\rho_{в.}}} = \frac{1+15}{\frac{1}{3} + \frac{15}{1}} = 1,043 \text{ т}/\text{м}^3;$$

Определяем расход пульпы по массе

$$Q_{n. \text{ по массе}} = 40000 * 1,043 = 41720 \text{ т}/\text{час};$$

Определяем выход хвостов на комбинате по массе

$$G_{хв.} = \frac{Q_{п. по массе}}{T+Ж} = \frac{41720}{16} = 2607,5 \text{ т}/\text{час};$$

Определяем годовой выход хвостов, принимая 365 рабочих дней в год на комбинате

$$G_{хв.} = 2607,5 * 24 * 365 = 22841700 \text{ т}/\text{год}.$$

Ответ: на комбинате образуется 22841700 т/год хвостов.

### Задача 3.3.2.

Определить массу хвостов, которые можно засклалировать в хвостохранилище балочного типа на участке площадью  $350 \text{ га}$  и срок эксплуатации этого хвостохранилища. Для расчета принять следующие исходные данные:

- коэффициент заполнения хвостохранилища  $- K_{зан.} = 0,8;$
- средняя плотность укладки сухих хвостов  $- \rho_{с. хв.} = 1,8 \text{ т/м}^3;$
- годовой выход хвостов  $- G_{хв.} = 9 \text{ млн. т};$
- кривые объемов и площадей хвостохранилища в зависимости от уровня заполнения приведены на рис. 7.

### Решение

Согласно графику объемов и площадей хвостохранилища, при его площади, равной  $350 \text{ га}$ , объем его ( $V$ ) составляет  $57,5 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ .

Определяем массу хвостов, которую можно засклалировать в хвостохранилище

$$M_{хв.} = V K_{зан.} \rho_{с. хв.} = 57,5 \cdot 10^6 \cdot 0,8 \cdot 1,8 = 82,8 \cdot 10^6 \text{ т.}$$

Определяем срок эксплуатации хвостохранилища

$$T = \frac{M_{хв.}}{G_{хв.}} = \frac{82,8 \cdot 10^6}{9 \cdot 10^6} = 9,2 \text{ лет.}$$

Ответ: на участке площадью  $350 \text{ га}$  можно засклалировать  $82,8 \text{ млн. т}$  хвостов в течение  $9,2$  лет.

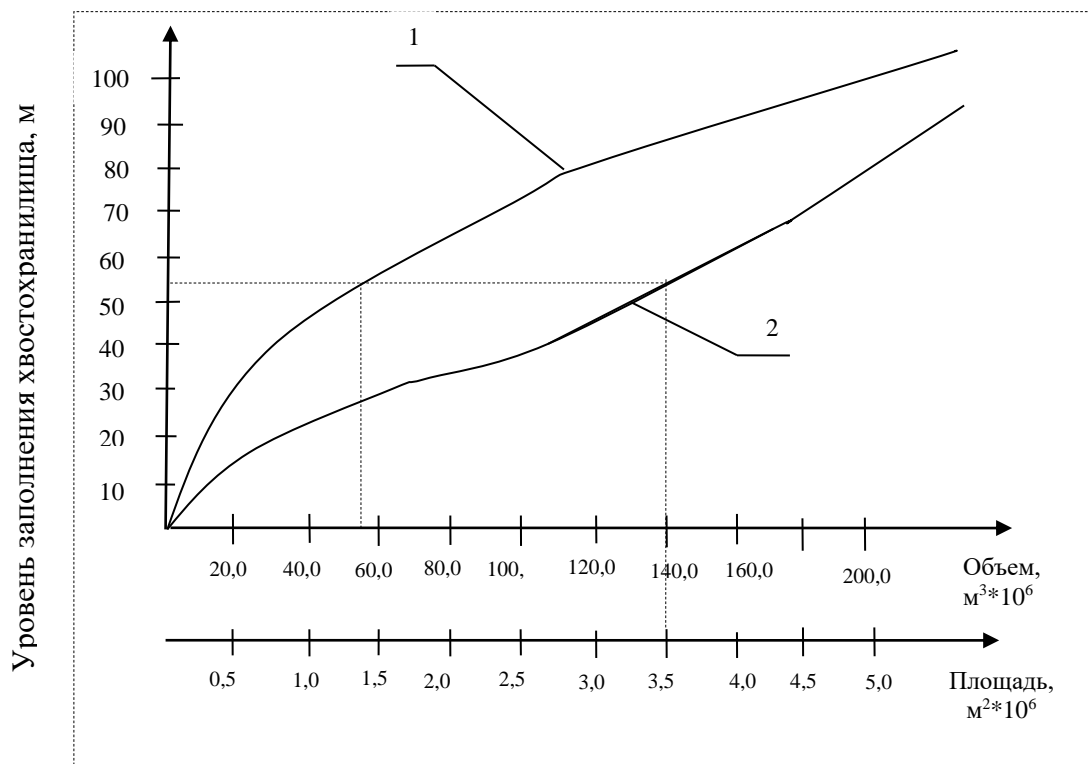


Рисунок 7 – График кривых объемов (1) и площадей (2) хвостохранилища

### Задача 3.3.3.

Хвостохранилище намывное, равнинного типа, в плане имеет форму квадрата. Первичная дамба возводится из естественных суглинков, вторичные – из хвостов. Определить объем хвостохранилища по ярусам и общий объем, объем хвостов, утилизируемых при возведении вторичных дамб.

Для расчета принять следующие исходные данные:

- площадь участка, отведенного под хвостохранилище –  $S = 280 \text{ га}$ ;
- высота ограждающей дамбы –  $H = 17,5 \text{ м}$ ;
- высота первичной дамбы –  $h_1 = 10 \text{ м}$ ;
- высота вторичных дамб –  $h_2 = 3 \text{ м}$ ;
- ширина гребня первичной и вторичных дамб –  $b = 8 \text{ м}$ ;
- заложения откосов первичных и вторичных дамб:

низового –  $1:m_n = 1:2,5$ ; верхового –  $1:m_v = 1:3$ ;

- превышение гребня дамб над уровнем заполнения  $- h_{зан.} = 0,5 \text{ м};$
- средняя плотность хвостов, намытых в хвостохранилище и отсыпанных во вторичные дамбы  $- \rho_{с. хв.} = 1,85 \text{ т/м}^3;$
- коэффициент заполнения хвостохранилища  $- \kappa_{зан.} = 0,8.$

### Решение

Схема хвостохранилища представлена на рис 8.

Для упрощения расчетов с достаточной точностью можно принять, что каждый ярус хвостохранилища имеет форму усеченной пирамиды, дамбы имеют форму правильной призмы.

Определяем длину одной стороны земельного участка, отведенного под хвостохранилище

$$A = \sqrt{S} = \sqrt{2800000} = 1673.3 \text{ м.}$$

Определяем количество вторичных ярусов ( $n$ )

$$n = \frac{H - H_1 - h_{зан.}}{H_2} = \frac{17,5 - 9,5 - 0,5}{2,5} = 3,$$

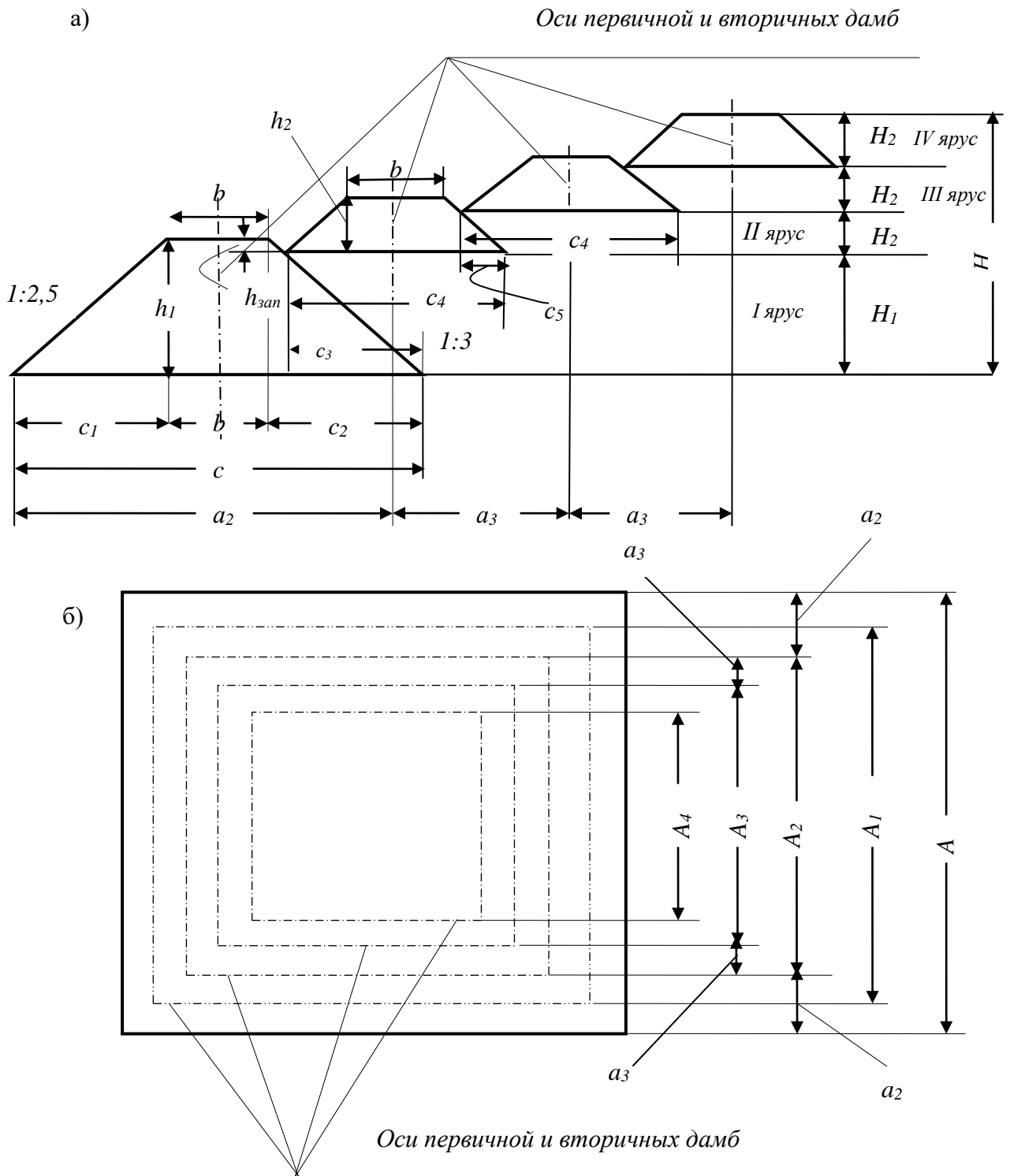
где  $H_1$  – высота первого яруса;  $H_2$  – высота вторичных ярусов;

$$H_1 = h_1 - h_{зан.} = 10.0 - 0.5 = 9.5 \text{ м}; H_2 = h_2 - h_{зан.} = 3 - 0.5 = 2.5 \text{ м.}$$

Определяем объем вторичных дамб ( $V$ )

$$V = F_{\partial} L_{\partial},$$

где  $F_{\partial}$  – площадь поперечного сечения вторичной дамбы;  $L_{\partial}$  – суммарная длина вторичных дамб, определяемая по оси дамб;



а) поперечный разрез ограждающей дамбы; б) схематичный план хвостохранилища

Рисунок 8 – Схема хвостохранилища:

$$L_{\partial} = L_{\partial 2} + L_{\partial 3} + L_{\partial 4}; L_{\partial 2} = 4 A_2; L_{\partial 3} = 4 A_3; L_{\partial 4} = 4 A_4;$$

$$A_2 = A - 2 a_2; A_3 = A_2 - 2 a_3; A_4 = A_3 - 2 a_3;$$

$$a_2 = h_1 m_n + b + h_{зан.} m_6 + h_2 m_n + b/2 = 10*2,5 + 8 + 0,5*3 + 2,5*3 + 8/2 = 46,0 \text{ м},$$

$$a_3 = b/2 + h_{зан.} m_6 + h_2 m_n + b/2 = 8/2 + 0,5*3 + 3*2,5 + 8/2 = 17,0 \text{ м};$$

$$A_2 = 1673,3 - 2*46,0 = 1581,3 \text{ м}; A_3 = 1581,3 - 2*17,0 = 1547,3 \text{ м};$$

$$A_4 = 1547,3 - 2*17 = 1513,3 \text{ м}; L_{\partial} = 1581,3*4 + 1547,3*4 + 1513,3*4 = 18567,6 \text{ м};$$

$$F_{\partial} = \frac{b+c_3}{2} H = \frac{8+3*2,5+8+3*3}{2} *3 = 48.75 \text{ м}^2$$

$$V = 48,75 * 18567,6 = 905171 \text{ м}^3.$$

Определяем объем первого яруса хвостохранилища

$$W_1 = \frac{1}{3} H_1 (S_{н1} + S_{в1} + \sqrt{S_{н1} S_{в1}}),$$

где  $S_{н1}$  – площадь нижнего основания первого яруса хвостохранилища;

$S_{в1}$  – площадь верхнего основания первого яруса хвостохранилища;

$S_{н1} = B_{н1}^2$ ;  $S_{в1} = B_{в1}^2$ ;  $B_{н1}$  – длина одной стороны нижнего основания первого яруса хвостохранилища;  $B_{в1}$  – длина одной стороны верхнего основания первого яруса хвостохранилища;  $B_{н1} = A - 2 c = 1673,3 - 2*63,0 = 1547,3 \text{ м};$

$$c = h_1 m_n + b + h_1 m_6 = 10*2,5 + 8 + 10*3 = 63,0 \text{ м};$$

$$B_{в1} = B_{н1} + 2 c_3 = 1547,3 + 2*28,5 = 1604,3 \text{ м}; c_3 = H_1 m_6 = 9,5*3 = 28,5 \text{ м};$$

$$W_1 = \frac{1}{3} *9,5* (1547,3^2 + 1604,3^2 + \sqrt{1547,3^2 * 1604,3^2}) = 23592456 \text{ м}^3.$$

Определяем объем второго яруса хвостохранилища

(расчет выполняем аналогично расчету первого яруса)

$$W_2 = \frac{1}{3} H_2 (S_{н2} + S_{в2} + \sqrt{S_{н2} S_{в2}}),$$

где  $S_{н2}$  – площадь нижнего основания второго яруса хвостохранилища;

$S_{в2}$  – площадь верхнего основания второго яруса хвостохранилища;



$S_{н2} = B_{н2}^2$ ;  $S_{в2} = B_{в2}^2$ ;  $B_{н2}$  – длина одной стороны нижнего основания второго яруса хвостохранилища;  $B_{в2}$  – длина одной стороны верхнего основания второго яруса хвостохранилища;  $B_{н2} = B_{в1} - 2 c_4 = 1604,3 - 2 * 24,5 = 1555,3$  м;

$$c_4 = h_2 m_n + b + h_2 m_в = 3 * 2,5 + 8 + 3 * 3 = 24,5 \text{ м};$$

$$B_{в2} = B_{н2} + 2 c_5 = 1555,3 + 2 * 7,5 = 1570,3; c_5 = H_2 m_в = 2,5 * 3 = 7,5 \text{ м};$$

$$W_2 = \frac{1}{3} * 2,5 * (1555,3^2 + 1570,3^2 + \sqrt{1555,3^2 * 1570,3^2}) = 6105906 \text{ м}^3.$$

Определяем объем третьего яруса хвостохранилища

$$B_{н3} = B_{в2} - 2 c_4 = 1570,3 - 2 * 24,5 = 1521,3 \text{ м};$$

$$B_{в3} = B_{н3} + 2 c_5 = 1521,3 + 2 * 7,5 = 1536,3 \text{ м};$$

$$W_3 = \frac{1}{3} * 2,5 * (1521,3^2 + 1536,3^2 + \sqrt{1521,3^2 * 1536,3^2}) = 5843120 \text{ м}^3.$$

Определяем объем четвертого яруса хвостохранилища

$$B_{н4} = B_{в3} - 2 c_4 = 1536,3 - 2 * 24,5 = 1487,3 \text{ м};$$

$$B_{в4} = B_{н4} + 2 c_5 = 1487,3 + 2 * 7,5 = 1502,3 \text{ м};$$

$$W_4 = \frac{1}{3} * 2,5 * (1487,3^2 + 1502,3^2 + \sqrt{1487,3^2 * 1502,3^2}) = 5586114 \text{ м}^3.$$

В связи с тем, что для возведения вторичных дамб используют хвосты с надводных пляжей хвостохранилища, что приводит к увеличению его объема, суммарный объем хвостохранилища определен как сумма его геометрического объема и объема вторичных дамб.

$$W_c = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + V = 23592456 + 6105906 + 5843120 + 5586114 + 905171 = 42032767 \text{ м}^3.$$

#### 4. Основные направления обращения с промышленными отходами

На основании лекционных занятий и рекомендованной литературы на практических занятиях по этому модулю студенты выполняют ориентировочные расчеты объемов образования отходов, расхода сырьевых материалов, содержания ценных компонентов в отходах, разрабатывают рекомендации по обращению с промышленными отходами.

#### Примеры заданий

##### Задание № 1

Шахта добывает 4,5 млн. т угля в год.

1. Определите ориентировочно, сколько образуется при этом отвальной породы?
2. Какие отвальные породы при этом рекомендуется складировать селективно?

##### Задание № 2

Тепловая станция сжигает 15000 т каменного угля в сутки. Средняя зольность угля составляет 12%. Определите ориентировочно, сколько образуется золошлаковых отходов в течение 10 лет?

##### Задание № 3

На машиностроительном предприятии производят литые изделия с отливкой их в разовые формы. Объем литых изделий составляет 1800 т/год. Определите ориентировочно, сколько потребуется сырьевых материалов для производства разовых форм, и как называют отходы формовочных материалов?

#### Задание №4

Объем хвостов, заскладированных в хвостохранилище составляет 30,5 млн. т, плотность укладки сухих хвостов – 1,85 т/м<sup>3</sup>. Определите ориентировочно массу железосодержащих компонентов поступающих в хвостохранилище с хвостами.

#### Задание № 5

Приведите, в каких производствах образуются железосодержащие, графитосодержащие и серосодержащие пыли и шламы на металлургических комбинатах.

#### Задание №6

После реконструкции цементный завод переходит на производство шлакопортландцемента различных марок производительностью 200 тыс. т/год цемента. Поставщиком шлаков является металлургический комбинат, выпускающий ежегодно 300 тыс. т чугуна и 200 тыс. т стали. Определите ориентировочно возможность металлургического комбината обеспечить цементный завод необходимым количеством шлака.

#### Задание №7

1. Приведите отходы, которые рекомендуется использовать при производстве щебня.
2. Приведите отходы, которые рекомендуется использовать при производстве керамического кирпича.

3. Приведите отходы, которые рекомендуется использовать при производстве силикатного кирпича.
4. Приведите отходы, которые рекомендуется использовать при производстве аглопорита и керамзита.
5. Приведите отходы, которые рекомендуется использовать при производстве цемента.
6. Приведите отходы, которые рекомендуется использовать при производстве бетона.
7. Приведите и обоснуйте основные направления утилизации отходов переработки древесины.
8. Приведите отходы, из которых рекомендуется извлекать цветные металлы.
9. Приведите отходы, при хранении которых, возможно засоление окружающей среды.
10. Приведите методы обезвреживания нефтесодержащих отходов.

## Приложение 1

### Физико-химические и токсикологические свойства ингредиентов, входящих в состав промышленных отходов

| Название                         | Формула  | Р<br>насыще<br>нного<br>пара, мм<br>рт. ст. | Раствори<br>мость,<br>г/100<br>воды | LD <sub>50</sub> | ПДК<br>р. з. | Класс<br>опас-<br>ности |
|----------------------------------|--|---|-------------------------------------|------------------|--------------|-------------------------|
| 1                                | 2  | 3   | 4                                   | 5                | 6            | 7                       |
| 1. Алюминий                      | Al   | 0   | 0                                   |                  | 2            | III                     |
| 2. Алюминия гидроксид            | Al(OH) <sub>3</sub>  | 0   | 0,00001                             |                  | 6            | III                     |
| 3. Алюмо калия сульфат           | AlK(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> *<br>*12 H <sub>2</sub> O | 0   | 5,9                                 |                  | 2            | III                     |
| 4. Алюминия нитрат<br>нонагидрат | Al(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> *<br>9H <sub>2</sub> O     | 0   | 241                                 | 204              |              |                         |
| 5. Алюминия нитрид               | AlN  | 0   | 0                                   |                  | 2            | III                     |
| 6. Алюминия оксид                | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                               | 0   | 0                                   |                  | 2            | III                     |
| 7. Алюминий фтористый            | AlF <sub>3</sub>   | 0   | 0,559                               |                  | 2,5          | III                     |
| 8. Алюминия сульфат              | Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>              | 0   | 38,5                                | 370              |              |                         |
| 9. Алюминия хлорид               | AlCl <sub>3</sub>  | 0   | 45,1                                | 150              |              |                         |
| 10. Аммиак                       | NH <sub>3</sub>  | 0   | 52,6                                |                  | 20           | IV                      |
| 11. Аммония сульфат              | (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>              | 0   | 75,4                                | 4200             |              |                         |
| 12. Аммония хрома<br>сульфат     | NH <sub>4</sub> Cr(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>            | 0   | 10,78                               | 11,9             |              |                         |
| 13. Ванадий                      | V  | 0   | 0                                   |                  |              |                         |
| 14. Ванадия карбид               | VC   | 0   | 0                                   |                  | 3            | III                     |
| 15. Ванадия оксид (III)          | V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                                | 0   | 0                                   |                  | 0,5          | II                      |
| 16. Ванадия оксид (V)            | V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>                                | 0   | 0,07                                | 23,4             | 0,1          | II                      |
| 17. Ванадия хлорид               | VCl <sub>3</sub>   | 0   |                                     | 24               | 0,5          | II                      |
| 18. Железо                       | Fe   | 0   | 0                                   | 98600            |              |                         |
| 19. Железо оксид                 | Fe O, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                         | 0   | 0                                   |                  | 10           | III                     |
| 20. Железо сульфат               | Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>              | 0   | 0                                   | 533              |              |                         |

Продолжение приложения 1

| 1                           | 2   | 3 | 4       | 5    | 6    | 7  |
|-----------------------------|---|---|---------|------|------|----|
| 21. Ж хлорид                | FeCl <sub>3</sub>   | 0 | 96,6    | 59   |      |    |
| 22. Кадмий                  | Cd  | 0 | 0       | 890  | 0,01 | I  |
| 23. К окид                  | CdO   | 0 | 0,00048 | 67   | 0,1  | II |
| 24. К сульфат               | CdSO <sub>4</sub>   | 0 | 76,4    | 47   | 0,01 | I  |
| 25. К хлорид                | CdCl <sub>2</sub>   | 0 | 114,1   | 67   | 0,01 | I  |
| 26. К нитрат<br>тетрагидрат | Cd(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> *<br>4H <sub>2</sub> O                | 0 | 149,4   | 47   | 0,01 | I  |
| 27. Кобальт                 | Co  | 0 | 0       |      | 0,5  | I  |
| 28. К оксид                 | CoO, Co <sub>3</sub> O <sub>4</sub> ,<br>Co <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0 | 0       | 202  | 0,05 | I  |
| 29. К сульфат               | CoSO <sub>4</sub>   | 0 | 39,3    | 424  |      |    |
| 30. К хлорид                | CoCl <sub>2</sub>   | 0 | 52,9    | 55   |      |    |
| 31. К нитрат                | Co(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>                                       | 0 | 50,57   | 434  |      |    |
| 32. К фтористый             | CoF <sub>2</sub>  | 0 | 1,36    | 150  |      |    |
| 33. Марганец                | Mn  | 0 | 0       |      | 0,3  | II |
| 34. М карбонат              | MnCO <sub>3</sub>   | 0 | 0,00011 |      |      |    |
| 35. М нитрат<br>гексагидрат | Mn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> *<br>6H <sub>2</sub> O                | 0 | 132,3   | 56   |      |    |
| 36. М оксид                 | MnO <sub>2</sub>  | 0 | 0       | 550  | 0,05 | I  |
| 37. М сульфат               | MnSO <sub>4</sub>   | 0 | 62,9    | 64   |      |    |
| 38. М хлорид                | MnCl <sub>2</sub>   | 0 | 73,9    | 120  |      |    |
| 39. Медь                    | Cu  | 0 | 0       |      | 1    | II |
| 40. М оксид                 | CuO   | 0 | 0       | 273  |      |    |
| 41. М сульфат               | CuSO <sub>4</sub>   | 0 | 20,5    | 43   | 0,5  | II |
| 42. М хлористая             | CuCl <sub>2</sub>   | 0 | 74,5    | 3,7  | 0,5  | II |
| 43. Мышьяк                  | As  | 0 | 0       | 144  |      |    |
| 44. М оксид (III)           | As <sub>4</sub> O <sub>6</sub>  | 0 | 3,7     | 10   |      |    |
| 45. М оксид (III)           | As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 0 | 2,04    | 19,1 | 0,3  | II |
| 46. М оксид (V)             | As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0 | 65,8    |      | 0,3  | II |
| 47. М сульфид               | As <sub>2</sub> S <sub>3</sub>  | 0 | 0       | 215  |      |    |

Продолжение приложения 1

| 1                     | 2   | 3      | 4      | 5    | 6      | 7   |
|-----------------------|---|--------|--------|------|--------|-----|
| 48. М хлорид          | AsCl <sub>3</sub>   | 11.65  | 0      | 48   |        |     |
| 49. Никель            | Ni  | 0      | 0      | 780  | 0,5    | II  |
| 50. Н оксид           | NiO   | 0      | 0      |      | 0,5    | II  |
| 51. Н сульфат         | NiSO <sub>4</sub>   | 0      | 38,4   | 32   | 0,5    | II  |
| 52. Н сульфид         | NiS   | 0      | 0      |      | 0,5    | II  |
| 53. Н тетракарбонил   | Ni(CO) <sub>4</sub>                                       | 0      | 0,018  |      | 0,0005 | I   |
| 54. Н хлорид          | NiCl <sub>2</sub>   | 0      | 65,6   | 105  |        |     |
| 55. Ртуть             | Hg  | 0.0013 | 0      |      | 0,01   | I   |
| 56. Р хлорид (сулема) | HgCl <sub>2</sub>   | 0      | 6,6    | 17,5 | 0,05   | I   |
| 57. Р нитрат гидрат   | Hg(NO <sub>3</sub> )*0.5<br>H <sub>2</sub> O              | 0      |        |      | 0,05   | I   |
| 58. Р оксид           | HgO   | 0      | 0,0051 |      | 0,05   | I   |
| 59. Р сульфат         | Hg <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>                           | 0      | 0,058  |      | 0,05   | I   |
| 60. Свинец            | Pb  | 0      | 0      |      | 0,005  | I   |
| 61. С оксид (II, IV)  | PbO, Pb <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ,<br>PbO <sub>2</sub> | 0      | 0,2756 | 217  |        |     |
| 62. С нитрат          | Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>                         | 0      | 52,2   |      | 0,01   | I   |
| 63. С сульфат         | PbSO <sub>4</sub>   | 0      | 0,0045 | 282  | 0,01   | I   |
| 64. С ортоарсенат     | Pb <sub>3</sub> (AsO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>          | 0      | 0      |      | 0,15   | II  |
| 65. Стронций          | Sr  | 0      |        |      |        |     |
| 66. С гидроксид       | Sr(OH) <sub>2</sub>                                       | 0      | 0,81   | 3160 | 1,0    | II  |
| 67. С карбонат        | SrCO <sub>3</sub>   | 0      | 0,0011 |      | 6,0    | IV  |
| 68. С нитрат          | Sr(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>                         | 0      | 70,4   | 1028 | 1,0    | II  |
| 69. С оксид           | SrO   | 0      |        | 667  | 1,0    | II  |
| 70. С сульфат         | SrSO <sub>4</sub>   | 0      | 0,0132 |      | 6,0    | IV  |
| 71. С хлорид          | SrCl <sub>2</sub>   | 0      | 53,1   | 1036 |        |     |
| 72. С хромат          | SrCrO <sub>4</sub>  | 0      | 0,12   | 3110 |        |     |
| 73. Сурьма            | Sb  | 0      | 0      | 90   | 0,5    | II  |
| 74. С (оксид III)     | Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                            | 0      |        | 172  | 1      | II  |
| 75. С (оксид V)       | Sb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>                            | 0      | 0,3    | 978  | 2      | III |

Продолжение приложения 1

| 1                   | 2                    | 3 | 4       | 5   | 6    | 7   |
|---------------------|----------------------|---|---------|-----|------|-----|
| 76. С сульфид (III) | $Sb_2S_3$            | 0 | 0,00017 | 209 | 1    | II  |
| 77. С сульфид (V)   | $Sb_2S_5$            | 0 | 0       | 458 | 2    | III |
| 78. С фторид (III)  | $SbF_3$              | 0 | 444,7   | 15  | 0,3  | II  |
| 79. С фторид (V)    | $SbF_5$              | 0 | 602     | 13  | 0,3  | II  |
| 80. С хлорид (III)  | $SbCl_3$             | 0 |         |     | 0,3  | II  |
| 81. С хлорид (V)    | $SbCl_5$             | 0 |         |     | 0,3  | II  |
| 82. Хром            | Cr                   | 0 | 0       |     |      |     |
| 83. X оксид         | $Cr_2O_3$            | 0 | 0       | 450 | 1    | II  |
| 84. X оксид         | $Cr_2O_3$            | 0 | 167     |     | 0,01 | I   |
| 85. X хлорид        | $CrCl_3$             | 0 | 0       | 7,8 | 0,01 | I   |
| 86. Цинк            | Zn                   | 0 | 0       |     |      |     |
| 87. Ц оксид         | ZnO                  | 0 | 0,00016 |     | 0,5  | II  |
| 88. Ц ортофосфат    | $Zn_3(PO_4)_2$       | 0 | 0       | 551 |      |     |
| 89. Ц сульфат       | $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ | 0 | 165     |     | 5    | III |
| 90. Ц сульфид       | ZnS                  | 0 | 0       |     | 5    | III |
| 91. Ц фосфид        | $Zn_2P_2$            | 0 | 0       |     | 0,1  | II  |
| 92. Ц хлорид        | $ZnCl_2$             | 0 | 375     |     | 1    | II  |



Приложение 2.

Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве по показателям вредности

| Название вещества                     | ПДК с учетом кларка (мг/кг) | Показатели вредности |                     |                        |                 |
|---------------------------------------|-----------------------------|----------------------|---------------------|------------------------|-----------------|
|                                       |                             | Транслокационный     | Миграционный водный | Миграционный воздушный | Общесанитарный  |
| 1                                     | 2                           | 3                    | 4                   | 5                      | 6               |
| Подвижная форма                       |                             |                      |                     |                        |                 |
| Медь                                  | 3,0                         | 3,5                  | 72                  | -                      | 3,0             |
| Никель                                | 4,0                         | 6,7                  | 14                  | -                      | 4,0             |
| Цинк                                  | 23,0                        | 23,0                 | 200,0               | -                      | 37,0            |
| Кобальт                               | 5,0                         | 25,0                 | >1000,0             | -                      | 5,0             |
| Хром                                  | 6,0                         | -                    | -                   | -                      | 6,0             |
| Водорастворимая форма                 |                             |                      |                     |                        |                 |
| Фтор                                  | 10,0                        | 10,0                 | 10,0                | -                      | 25,0            |
| Валовое содержание                    |                             |                      |                     |                        |                 |
| Сурьма                                | 4,5                         | 4,5                  | 4,5                 | -                      | 50,0            |
| Марганец                              | 1500,0                      | 3500,0               | 1500,0              | -                      | 1500,0          |
| Ванадий                               | 150,0                       | 170,0                | 350,0               | -                      | 150,0           |
| Марганец + ванадий                    | 1000 +<br>100,0             | 1500 +<br>150,0      | 2000 +<br>200,0     | -                      | 1000 +<br>100,0 |
| Свинец                                | 32,0                        | 35,0                 | 260,0               | -                      | 32,0            |
| Мышьяк                                | 2,0                         | 2,0                  | 15,0                | -                      | 10,0            |
| Ртуть                                 | 2,1                         | 2,1                  | 33,3                | 2,5                    | 5,0             |
| Свинец + Ртуть                        | 20,0 +<br>1,0               | 20,0 + 1,0           | 30,0 + 2,0          | -                      | 30,0 + 2,0      |
| Хлористый калий по (K <sub>2</sub> O) | 560,0                       | 1000,0               | 560,0               | 1000,0                 | 5000,0          |
| Нитраты                               | 130,0                       | 180,0                | 130,0               | -                      | 225,0           |
| Бенз(а)пирен                          | 0,02                        | 0,2                  | 0,5                 | -                      | 0,02            |
| Бензол                                | 0,3                         | 3,0                  | 10,0                | 0,3                    | 50,0            |
| Толуол                                | 0,3                         | 0,3                  | 100,0               | 0,3                    | 50,0            |

Продолжение приложения 2

| 1   | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| Изопропилбензол                                 | 0,5    | 3,0    | 100,0  | 0,5    | 50,0   |
| Альфаметилстирол                                | 0,5    | 3,0    | 100,0  | 0,5    | 50,0   |
| Стирол  | 0,1    | 0,3    | 100,0  | 0,1    | 1,0    |
| Ксилолы   | 0,3    | 0,3    | 100,0  | 0,4    | 1,0    |
| Сернистые соединения:                           |        |        |        |        |        |
| Сернистый водород                               | 0,4    | 160,0  | 140,0  | 0,4    | 160,0  |
| Элементарная сера                               | 160,0  | 180,0  | 380,0  | -      | 160,0  |
| Серная кислота                                  | 160,0  | 180,0  | 380,0  | -      | 160,0  |
| ВФВ   | 3000,0 | 9000,0 | 3000,0 | 6000,0 | 3000,0 |
| КГД   | 120,0  | 800,0  | 120,0  | 800,0  | 800,0  |
| РКД   | 80,0   | >800,0 | 80,0   | >800,0 | 800,0  |
| Суперфосфат по (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) | 200,0  | 200,0  | -      | -      | -      |

ВФВ – отходы флотации угля, КГД – комплексные гранулированные удобрения, РКД – редкие комплексные удобрения.

### Приложение 3.

Перечень промышленных отходов IV класса опасности, принимаемых на полигоны твердых бытовых отходов без ограничения и используемых в качестве изолирующего материала

| Код группы и вида отходов | Вид отхода  |
|---------------------------|---|
| 1.24.01                   | Алюмосиликатный шлам СБ-Г-43-6  |
| 1.36.02.1                 | Асбестоцементный лом  |
| 1.36.02.2                 | Асбестовая крошка   |
| 1.39.01                   | Отходы бентонита  |
| 1.31.01                   | Графит отработанный производства карбида кальция                                  |
| 1.39.02                   | Гипсосодержащие отходы производства витамина В <sub>6</sub>                       |
| 1.39.03                   | Гашеная известь, известняк, шламы после гашения                                   |
| 1.39.04                   | Твердые отходы мела, химически осажденные   |
| 1.39.05                   | Оксид алюминия в виде отработанных брикетов (при производстве AlCl <sub>3</sub> ) |
| 1.39.06                   | Оксид кремния (при производстве ПВХ и AlCl <sub>3</sub> )                         |
| 1.39.07                   | Отходы паранита   |
| 1.39.08                   | Сплав солей сульфата натрия   |
| 1.39.09                   | Селикогель (из адсорберов сушки нетоксичных газов)                                |
| 1.24.02                   | Шлам из фильтр-прессов производства силикогеля (содержит глину и кремнезем)       |
| 1.24.03                   | Шлам соды гранулированный   |
| 1.24.04                   | Отходы дистилляции CaSO <sub>4</sub> содово-цементного производства               |
| 1.29.00                   | Формовочные стержневые смеси, не содержащие тяжелые металлы                       |
| 1.24.05                   | Шламы химводоочиски и смягчения воды  |
| 1.27.01                   | Хлорид-натриевые осадки сточных вод производства лаковых эпоксидных смол          |
| 1.39.10                   | Хлорная известь нестандартная   |
| 1.36.02.3                 | Твердые отходы производства шифера  |
| 1.39.11                   | Шлаки ТЭЦ, котельных, работающие на угле, торфе, сланцах, бытовых отходах         |
| 1.39.12                   | Шлифовальные материалы  |

## Приложение 4

Перечень промышленных отходов III и IV классов опасности, которые принимаются на полигоны твердых бытовых отходов с ограничением и складироваются совместно (нормативы даны на 1000 м<sup>3</sup> твердых бытовых отходов)

| Код группы и вида отходов                                 | Вид отхода   | Предельное количество промышленных отходов, т/1000 м <sup>3</sup> ТБО |
|---|--|---|
| 1.24.06   | Кубовые остатки производства уксусного ангидрида           | 3   |
| 1.39.13   | Отходы резита (затвердевшая формальдегидная смола)         | 3   |
| 1.39.14   | Твердые отходы производства полистирольных пластиков       | 10  |
| Отходы производства электроизоляционных материалов        |  |   |
| 1.39.15   | Гетинакс электротехнический листовой Ш-8                   | 10  |
| 1.39.16   | Клейкая лента ЛСНПЛ-0,17                                   | 3   |
| 1.39.17   | Полиэтиленовая трубка ПНЛ                                  | 10  |
| 1.39.18   | Стеклолакоткань ЛСЕ-0,15                                   | 3   |
| 1.39.19   | Стеклоткань Е2-62  | 3   |
| 1.39.20   | Текстолит электротехнический листовой Б-16,0               | 10  |
| 1.39.21   | Фенопласт 03-010-02  | 10  |
| Твердые отходы суспензионного, эмульсионного производства |  |   |
| 1.39.22   | Сополимеров стирола с акрилонитрилом или метилметакрилатом | 3   |
| 1.39.23   | Полистирольных пластиков                                   | 3   |
| 1.39.24   | Акрилонитрилбутадиенстирольных пластиков                   | 10  |
| 1.39.25   | Полистиролов   | 3   |

## Приложение 5.

Перечень промышленных отходов III и IV классов опасности, принимаемых на полигоны твердых бытовых отходов с ограничением и складируемых совместно (нормативы даны на 1000 м<sup>3</sup> твердых бытовых отходов) с соблюдением особых условий

| Код группы и вида отходов                             | Вид отхода                                     | Предельное количество промышленных отходов, т/1000 м <sup>3</sup> ТБО | Особые условия складирования на полигоне или подготовки на промышленном предприятии    |
|---|--|---|--|
| 1.39.26   | Активированный уголь производства витамина В-6 | 3   | Укладка слоем не более 0,2 м   |
| 1.39.27   | Отходы ацетобутилатцеллюлозы                   | 3   | Прессование в блоки размером не более 0,3*0,3*0,3 м в мокром состоянии                 |
| 1.39.28   | Древесные и опилочно-стружечные отходы         | 10  | Не должны содержать опилки, используемые для посыпания полов в промышленных помещениях |
| 1.21.06   | Обрезка хромовых шкур                          | 3   | Укладка слоем не более 0,2 м   |
| 1.39.29   | Безвозвратная древесная и бумажная тара        | 10  | Не должна содержать промасленную бумагу  |
| 1.39.30   | Обрезки кожзамениителей                        | 3   | Укладка слоем не более 0,2 м   |
| 1.39.31   | Отбеливающий грунт                             | 3   | Укладка слоем не более 0,2 м   |
| 1.39.32   | Фаолитовая пыль                                | 3   | В мешках в мокром состоянии  |
| Предельная суммарная нагрузка по приложениям №№ 4 и 5 |  | 100   |  |

## ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Обращение с отходами : учебное пособие / А.А. Челноков [и др.].. — Минск : Вышэйшая школа, 2018. — 464 с. — ISBN 978-985-06-2865-7. — Текст : электронный // IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/90798.html>
2. Есякова О.В. Обращение с отходами : учебное пособие / Есякова О.В., Иванов В.А.. — Красноярск : Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, 2018. — 90 с. — Текст : электронный // IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/94893.html>
3. Рубанов Ю.К. Инженерное обеспечение обращения с отходами : учебное пособие / Рубанов Ю.К., Токач Ю.Е.. — Москва, Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. — 184 с. — ISBN 978-5-9729-0526-3. — Текст : электронный // IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/115236.html>
4. Липаев А.А. Обращение с отходами производства и потребления : учебное пособие / Липаев А.А., Липаев С.А.. — Москва, Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. — 408 с. — ISBN 978-5-9729-0616-1. — Текст : электронный // IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/114937.html>

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**  
**к проведению практических работ по дисциплине**  
**«Обращение с отходами»**

**Составители:**

Ганнова Юлия Николаевна - кандидат химических наук, доцент кафедры прикладная экология и охрана окружающей среды ГОУВПО «ДОННТУ»;

Горбатко Сергей Витальевич – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладная экология и охрана окружающей среды ГОУВПО «ДОННТУ».

**Ответственный за выпуск:**

Шаповалов Валерий Васильевич – доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой «Прикладная экология и охрана окружающей среды» ГОУВПО «ДОННТУ».